

示范性职业教育重点规划教材

城市轨道交通车辆制动系统

主 编 王 慧

主 审 郑全才

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

本书系统介绍了城市轨道交通车辆制动系统的基本概念、结构和工作原理,全书分为五章:第一章绪论,主要包括制动系统的作用及特点、制动系统在城市轨道交通车辆运行中的意义以及我国城市轨道交通车辆制动系统的发展概况。第二章城市轨道交通车辆的制动方式,主要包括:制动方式的分类和制动系统的分类。第三章风源系统,主要包括空气压缩机、空气干燥器、空气压缩机组及管路系统以及压力调节器。第四章电器指令式制动控制系统,主要包括电气指令式制动控制系统分类、电磁式空气制动机、制动装置、克诺尔电空制动机以及SD型电空制动机。第五章基础制动装置,主要包括:闸瓦制动、闸瓦间隙调整器以及盘形制动。第六章动力制动,主要包括:交、直流牵引传动的电制动、制动能力的设计与计算以及制动优先和混合原则。

本书为高等职业学校城市轨道交通车辆专业教材,也可供从事城市轨道交通的管理人员、工程技术人员和中等职业学校城市轨道交通车辆专业师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通车辆制动系统 / 王慧主编. — 成都:
西南交通大学出版社, 2015.1
ISBN 978-7-5643-3362-1

I. ①城… II. ①王… III. ①城市铁路—铁路车辆—
车辆制动—高等职业教育—教材 IV. ①U239.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第198907号

责任编辑 金雪岩
装帧设计 何东琳设计工作室

城市轨道交通车辆制动系统

主编 王慧

出 版	西南交通大学出版社 (610031 四川省成都市金牛区交大路146号)
发行电话	028-87600564 028-87600533
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	成都蓉军广告印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	7
字 数	170 千
版 次	2015年1月第1版
印 次	2015年1月第1次
书 号	ISBN 978-7-5643-3362-1
定 价	20.00 元

课件咨询电话: 028-87600533
图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

贵阳职业技术学院教材编写委员会名单

主任	杨彦峰	陈贵蜀		
副主任	杨 献	柴忠元	刘路明	秦祖豪
	吴学玲	陈开明	张正保	
委员	熊光奎	高 军	彭明生	宋 波
	胡 然	代 琼	姜治平	刘裕红
	陈 健	彭再兴	李明龙	陈桂莲
	冯钰雯	倪 伟	凌泽生	杨兴国
	张书凤	王 鑫		

前 言

公共交通直接关系到城市经济发展，是城市活力和投资环境的一个重要标志，也是确保居民正常工作、学习、生活的重要手段。我国是世界上人口最多的国家，人口的城市化进程随着经济的发展和改革开放力度的增大正在迅速加快。据统计，百万人以上的大城市已达50多座，还有千万人口以上的特大城市，如上海、北京等。由于历史形成的多种原因，我国大城市的公共交通长期处于基础设施落后、形式单一状态，跟不上城市经济发展、人口增长对公共交通的要求，严重制约了经济发展和居民的正常活动，成为困扰各大城市的一个难题。

解决大城市的公共交通问题，国外已有成功的经验，那就是以发展大容量快速城市轨道交通为骨干，形成多平面的立体的城市公共交通网络，这也是我国城市交通发展的必由之路。车辆是城市轨道交通最重要的也是最关键的设备，而制动系统更是城市轨道交通车辆中的最重要设备之一，也是确保城轨车辆正常运营和安全的关键所在。它是多专业综合性的产品，涉及机械、电机、电气、控制、材料等领域。

本书的编写结合了中高等职业技术教育类学生的特点，介绍了城市轨道交通车辆制动系统的基本特征、结构原理以及制动系统的控制原理等。主要内容有：城市轨道交通车辆制动系统概况、城市轨道交通车辆的制动方式、风源系统、电气指令式制动控制系统、基础制动装置和动力制动。

其中第三章风源系统、第四章电气指令式制动控制系统和第六章动力制动所占篇幅较大。尤其是第四章，详细介绍了目前我国城市轨道交通车辆主要采用的两种制动系统。

本书共分六章，由王慧编写，李凯老师提出了很多宝贵意见，郑全才对全书进行了审核，在此表示衷心感谢！

由于时间、资料、水平有限，书中可能有一些不妥之处，敬请同行、读者指正。

编 者

2014.05

目 录

第一章	城市轨道交通车辆制动系统概况	1
第一节	制动系统的作用及特点	1
第二节	城轨车辆制动系统的要求	2
第三节	我国城轨车辆制动系统的发展概况	2
第二章	城市轨道交通车辆的制动方式	6
第一节	制动方式的分类	6
第二节	制动控制系统分类	11
第三章	风源系统	18
第一节	空气压缩机	18
第二节	空气干燥器	23
第三节	空气压缩机组及管路系统	28
第四节	压力调节器	30
第四章	电气指令式制动控制系统	33
第一节	电气指令式制动控制系统分类	33
第二节	电磁空气制动机	34
第三节	辅助制动装置	37
第四节	克诺尔电空制动机	41
第五节	SD 型电空制动机	56
第五章	基础制动装置	73
第一节	闸瓦制动	73
第二节	闸瓦间隙调整器	76
第三节	盘形制动	79
第六章	动力制动	83
第一节	直流牵引传动的电制动	83
第二节	交流牵引传动的电制动	89
第三节	制动能力的设计与计算	94
第四节	制动优先和混合原则	100
	参考文献	103

第三章 风源系统

一般情况下，城轨车辆采用城轨列车模式，以单元进行编组，所以其风源系统也是以单元来供气，每一单元设置一套风源系统，相邻车辆的主风管通过截断塞门和软管相连，由两个以上单元组成的列车就具有两套以上风源系统。风源系统主要包括：空气压缩机组、主风缸、脚踏泵以及空气管路系统等。用风设备主要包括：制动装置、空气悬挂装置、车门控制装置，以及风喇叭、雨刮器、受电弓气动控制设备、车钩操作气动控制设备等。风源系统制造的压缩空气为用风设备的驱动提供动力，而压缩空气的净化和干燥处理是不可或缺的，其目的是去除压缩空气中所含有的灰尘、杂质、油滴和水分等，保证制动系统及其他用风设备能长时间可靠地工作。

第一节 空气压缩机

空气压缩机（简称空压机）是用来产生压缩空气（也称压力空气）的装置。城轨车辆采用的空气压缩机要求具有噪声低、振动小、结构紧凑、维护方便、环境实用性强等特点，其直流驱动电机已逐渐被交流驱动电机取代。目前，城轨车辆中采用的空气压缩机主要有活塞式空气压缩机和螺杆式空气压缩机两种。

一、活塞式空气压缩机

1. 结构与组成

活塞式空气压缩机由固定机构、运动机构、进/排气机构、中间冷却装置和润滑装置等几部分组成。其中，固定机构包括机体、气缸、气缸盖；运动机构包括曲轴、连杆、活塞；进/排气机构包括空气滤清器、气阀；中间冷却装置包括中间冷却器（简称中冷器）、冷却风扇；润滑装置包括润滑油泵、润滑油路等。

2. 工作原理

活塞式空气压缩机的工作原理如图 3-1 所示：电机通过联轴节驱动空压机曲轴转动，曲柄连杆机构带动高、低压缸活塞同时在气缸内做上下往复运动。由于曲轴中部的三个轴颈在轴向平面内互成 120° 角，两个低压活塞和一个高压活塞分别相隔 120° 转角。当低压活塞下行时，活塞顶面与缸盖之间形成真空，经空气滤清器的大气推开进气阀片（进气阀片弹簧被

压缩) 进入低压缸, 此时排气阀在弹簧和中冷器内空气压力的作用下关闭。

当低压活塞上行时, 气缸内的空气被压缩, 其压力大于排气阀片上方压力与排气阀弹簧的弹力之和时, 压缩排气阀弹簧而推开排气阀片, 具有一定压力的空气排出缸外, 而进气阀片在气缸内压力及其弹簧的作用下关闭。两个低压缸送出的低压空气, 都经气缸盖的同一通道进入中冷器。经中冷器冷却后, 再进入高压缸, 进行第二次压缩。压缩后的空气经排气阀口、主管路送入主风缸中储存。高压活塞的进、排气作用与低压活塞的进、排气作用相同。

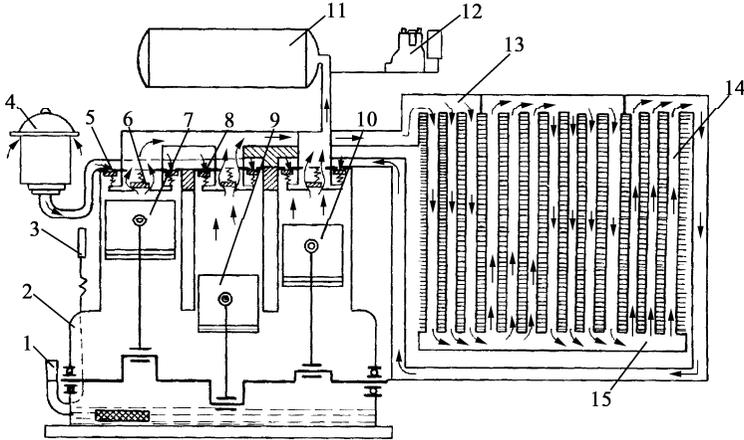


图 3-1 活塞式空气压缩机工作原理

- 1—润滑油泵; 2—机体; 3—油压表; 4—空气滤清器; 5、8—进气阀片; 6—排气阀片;
7、9—低压活塞; 10—高压活塞; 11—主风缸; 12—压力控制器;
13—上集气箱; 14—散热管; 15—下集气箱

在运用中, 主风缸压力保持在一定的范围, 如 750 ~ 900 kPa, 它是通过空压机压力控制器 (调压器) 自动控制空压机的启动或停止来实现的。当主风缸的压力逐渐增高, 达到规定压力上限时, 压力控制器切断空压机驱动电机的电源, 使空压机停止工作; 而随着设备的用风和管路的泄漏等, 主风缸的压力逐渐降低, 达到规定压力下限时, 压力控制器接通空压机驱动电机的电源, 使空压机开始工作, 主风缸压力又回升。这样主风缸压力一直被控制在规定的范围之内。

3. 用于城轨车辆的两种活塞式空气压缩机

(1) VV230/180-2 型活塞式空气压缩机

VV230/180-2 型活塞式空气压缩机, 排气量为 1 500 L/min, 输出压力为 1 100 kPa, 转速为 1 520 r/min, 采用 1 500 V 直流电动机通过弹性联轴器直接驱动。其采用 4 个气缸 (其中三个低压缸的直径为 95 mm, 一个高压缸的直径为 85 mm), 两级压缩带有两个空气冷却器 (中间冷却或后冷却), 并用风扇强迫通风。此压缩机的主要特点是它的缸体与曲轴箱不连成一体, 这样的设计便于缸套的安装和调换。

(2) VV120/150—1 型活塞式空气压缩机

VV120/150—1 型活塞式空气压缩机有 3 个气缸, 其中两个为低压缸, 一个为高压缸。3 个缸呈 W 形排列, 采用两级压缩, 带有两个空气冷却器。其排气量为 920 L/min, 输出压力为 1 000 kPa, 转速为 1 450 r/min, 由 380 V、三相、50 Hz 交流鼠笼式异步电动机驱动。电

机与压缩机之间是永久连接，不需要维护，有一个自对中心的法兰连接，这种布置不需要在电机和压缩机之间有很精确的直线连接。

其空气过滤器采用过滤纸过滤，其效果较油浴式过滤器好，但应用成本较高。冷却风扇的叶片不直接安装在曲轴端头，而是通过温控液力联合器连接，也称粘性连接。在温度较低时，联轴器内的液体粘度很低，不传递转矩，故可节约能源。该空气压缩机组的一个主要优点是在 4.6 m 距离内噪声的声压级只有 64 dB (A)。

活塞式空气压缩机的应用广泛，技术成熟，可靠性和稳定性好，不需要特殊润滑，性价比具有吸引力。与活塞式空气压缩机相比，螺杆式空气压缩机具有独自的特点。

二、螺杆式空气压缩机

1. 螺杆式空气压缩机的特点

(1) 噪声低、振动小

螺杆式空气压缩机工作时，作为旋转部件的两个螺杆的运动没有质心位置的变动，因而没有产生振动的激扰力。经精密加工制造的阳、阴螺杆和机壳之间互相密贴和啮合的间隙是通过喷油实现密封和冷却的，并不产生机械接触和摩擦，因而在工作中噪声强度大大降低，一般不超过 85 dB (A)。另外它的空气压缩过程是连续的，不受气阀开闭的制约，所以，压缩空气流动连续而且平稳，没有脉动。

(2) 可靠性高和寿命长

螺杆式空气压缩机工作时除了轴承和轴封等部件外，没有因相对运动而承受摩擦的零部件。阳、阴螺杆和机壳之间并不产生机械接触和摩擦，在工作中不产生磨损。它的这个特点使其具有高可靠性和免维护特性。通常螺杆式空气压缩机的检修周期可以保证不短于整车的大修期。

(3) 维护简单

在运用中，检查、检修人员只要注意观察螺杆式空气压缩机的机油油位不低于油表或视油镜刻线，保证空气滤清器不脏到堵塞的程度，那么空气压缩机就能正常工作，并不需要给予特别的关照。这也是螺杆式空气压缩机受到特别青睐的原因。

2. 螺杆式空气压缩机的结构

螺杆式空气压缩机的主机是双回转轴容积式压缩机，转子为一对互相啮合的螺杆，螺杆具有非对称啮合型面。主动转子为阳螺杆，从动转子为阴螺杆。常用的主副螺杆齿数比依压缩机容量而有所不同，通常为 4 : 5、4 : 6 或 5 : 6。两个互相啮合的转子在一个只留有进气口和排气口的铸铁壳体里面旋转，螺杆的啮合和螺杆与壳体之间的间隙通过精密加工严格控制，并在工作时向螺杆腔内喷压缩机油，使间隙被密封，并将两转子的啮合面隔离以防止机械磨损。

另外，不断喷入的机油与压缩空气混合，用来带走压缩过程中产生的热量，维持螺杆副长期可靠地运转。当螺杆副啮合旋转时，它从进气口吸气，经过压缩从排气口排气，得到具有一定压力的压缩空气。

螺杆副结构如图 3-2 所示，是一对齿数比为 4：6、以特定螺旋角互相啮合的螺杆。其中阳螺杆（通常作驱动螺杆）为凸形不对称齿，而阴螺杆（常用作从动螺杆）为瘦齿形弯曲齿。两螺杆的齿断面形线系专门设计并经精密磨削加工而成，在啮合过程中两齿间始终保持“零”间隙密贴，形成空气的挤压空腔。

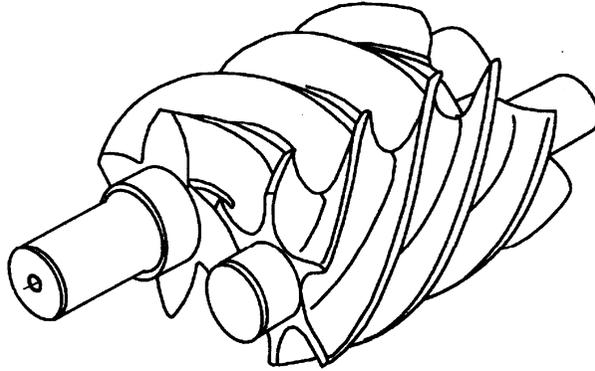


图 3-2 螺杆式空气压缩机螺杆副

3. 螺杆式空气压缩机的工作原理

螺杆式空气压缩机的工作过程分为吸气、压缩、排气三个阶段，其工作流程图如图 3-3 所示。

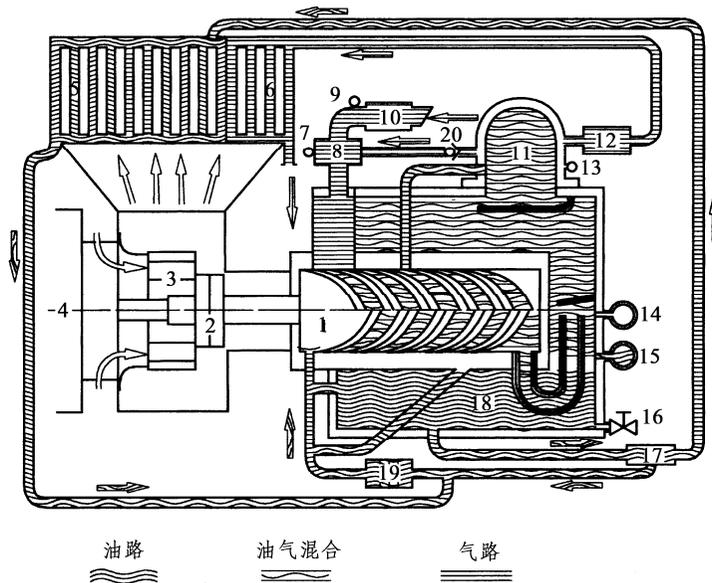


图 3-3 螺杆式空气压缩机系统流程图

- 1—螺杆式空气压缩机；2—联轴器；3—冷却风机；4—电动机；5—空、油冷却器（机油冷却单元）；
- 6—冷却器（压缩空气后冷却单元）；7—压力开关；8—进气阀；9—真空指示器；
- 10—空气滤清器；11—油细分离器；12—最小压力维持阀；13—安全阀；
- 14—温度开关；15—视油镜；16—泄油阀；17—温度控制阀；
- 18—油气筒组成；19—机油过滤器；20—逆止阀

（1）吸气过程

螺杆安装在壳体内，在自然状态下就有一部分螺杆的沟槽与壳体上的进气口相通。也就是说，在任何时候，无论螺杆式空气压缩机的螺杆旋转到什么位置，总有空气通过进气口充满与进气口相通的沟槽。这是压缩机的吸气过程。

主副两转子在吸气终了时，已经充盈空气的螺杆沟槽的齿顶与机壳腔壁贴合，此时，在齿沟内的空气即被隔离，不再与外界相通并失去相对流动的自由，即被“封闭”。当吸气过程结束后，两个螺杆在吸气口的反面开始进入啮合，并使得封闭在螺杆齿沟里的空气的体积逐渐减小，压力上升，压缩随之开始。

（2）压缩过程

随着压缩机两转子的继续转动，封闭有空气的螺杆沟槽与相对的螺杆的齿的啮合从吸气端不断地向排气端发展，啮合的齿占据了原来已经充满空气的沟槽的空间，将在沟槽里的空气挤压，体积渐渐变小，而压力则随着体积变小而逐渐升高。空气是被裹带着一边转动，一边被继续压缩的，从吸气结束开始，一直延续到排气口打开之前。当前一个螺杆齿端面转过被它遮挡的机壳端面上的排气口时，在齿沟内的空气即与排气腔的空气相连通，受挤压的空气开始进入排气腔，至此在压缩机内的压缩过程即结束了。这个体积减小压力渐升的过程是压缩机的压缩过程。

在压缩过程中，压缩机不断地向压缩室和轴承喷射润滑油，其主要作用如下：

① 润滑作用

喷入的润滑油在螺杆的齿面形成油膜，使啮合齿的齿面与齿面、齿顶与机壳间不直接接触，不产生干摩擦及由此引起的磨损。

② 密封作用

润滑油油膜填充了螺杆啮合齿与齿之间及齿顶与机壳之间的间隙，阻止压缩空气的泄漏，起密封作用，提高压缩机的容积效率。

③ 降噪作用

喷入的润滑油与压缩空气混合，在油气混合物压力变化时，不可压缩的液态油可以部分地吸收、缓和压缩空气膨胀时产生的气动高频噪声。

④ 冷却作用

喷入的润滑油接触到螺杆、机壳壁和压缩空气，吸收压缩热并将其带出。通过机外冷却系统将润滑油带出来的热量转由冷却空气散掉，从而保证压缩机工作在理想的工作温度范围内，保证机器的可靠性和使用寿命。

（3）排气过程

压缩过程结束，封闭有压缩空气的螺杆沟槽的端部边缘与螺杆壳体端壁上的排气口边缘相通时，受到挤压压缩的空气被迅速从排气口推出，进入螺杆式空气压缩机的排气腔。随着螺杆副的继续转动，螺杆啮合继续向排气端的方向推移，逐渐将在这个沟槽里的压缩空气全部挤出。这是压缩机的排气过程。

在排气过程中，由于排气腔并不直接连着压缩空气用气设备，在排气腔出口设置的最小压力维持阀限制压缩空气外流，会使压缩空气的压力继续上升或者受到制约。

螺杆式空气压缩机壳体的进气口开口的大小及边缘曲线的形状是与螺杆的齿数及螺旋角的角度相关的。而压缩机后端壁上的排气口开口形状（呈现为蝶形）及尺寸也是由压缩机的

压缩特性及螺杆的端面齿形所决定的。

在这里所讲的螺杆式空气压缩机工作原理，是以螺杆的一个沟槽为实例展开的，并且把它的工作过程分为吸气、压缩和排气 3 个阶段，界限清晰的一段接一段地介绍。实际上压缩机螺杆的工作转速很快，而且主动螺杆和从动螺杆的每一个沟槽，在运转过程中承担着相同的任务，将它的空腔在进气侧打开吸进空气，然后再将其带到排气侧压缩后排出。这种高速的、周而复始的工作（螺旋状的前一个沟槽和后面相邻沟槽的同一个工作阶段尽管有先有后，但实际上是重叠发生的）保证了螺杆式空气压缩机工作的连续性和供气的平稳性，形成了它的低振动和高效率的工作特性。

螺杆式空气压缩机的工作循环是在啮合的螺杆齿和齿沟间一个接一个周而复始连续不断地进行的。而且它的压缩过程只是在齿沟里的空气被挤进排气腔的过程中才完成的，所以没有像活塞式压缩机那样的振动和排气阀启闭形成的冲击噪音。

第二节 空气干燥器

空气压缩机输出的压缩空气中含有较高的水分、油分和机械杂质等，必须经过空气干燥器将其中的水分、油分和机械杂质除去，才能达到车辆上用风设备对压缩空气的要求。液态的水、油微粒及机械杂质在滤清器（或油水分离器）中基本被除去，压缩空气的相对湿度降低（通常相对湿度达 35% 以下）是避免用风过程中出现冷凝水危害的主要方式，降低压缩空气相对湿度依靠空气干燥器来完成。

空气干燥依靠吸附过程和再生过程来降低压缩空气的相对湿度。吸附过程是一个平衡反应，即：在吸附剂（干燥剂）和与其接触的压缩空气之间湿度趋向于平衡，而相对湿度大的压缩空气与吸附剂的表面接触时，由于吸附剂具有大量微孔，与空气的接触面积大，吸附剂可以大量、快速地吸附压缩空气中的水蒸气分子，达到干燥压缩空气的目的；再生过程也是一个平衡反应，用于吸附剂再生的吹扫气体是由较高压力的压缩空气膨胀而来的。压缩空气膨胀时，空气体积增大而压力降低，获得的吹扫气体的相对湿度较低，因而易于“夺”走吸附剂上已吸附的水蒸气分子，使吸附剂恢复干燥状态，达到再生的目的。

空气干燥器的特点是“压力吸附与无热再生”。

常用的吸附剂有：硅凝胶、氧化铝、活性炭及分子筛等。

空气干燥器一般都是塔式的，有单塔式和双塔式两种。

一、单塔式空气干燥器

单塔式（也称单筒式）空气干燥器是一种无热再生作用的干燥器，如图 3-4 所示。它的特点是吸附剂的吸附作用与再生作用在同一个干燥筒内进行。

1. 结构组成

单塔式空气干燥器由油水分离器、干燥筒、排泄阀、电磁阀、再生风缸和消声器等组成。

在油水分离器中存有许许多“拉希格”圈（这是一种用铝片或铜片制成的有缝的小圆筒），干燥筒则是一个网形的大圆筒，其中盛满颗粒状的吸附剂。

2. 空气干燥器工作过程

空气压缩机工作时，电空阀 13 得电，活塞 12 下方通过排气阀 15 通向大气，活塞 12 在弹簧力作用下关闭排泄阀 9。空压机输出的压力空气从干燥塔中部的进口管 I 进入干燥塔，首先到达油水分离器。当含有油分和机械杂质的压缩空气经过“拉希格”圈时，油滴吸附在“拉希格”圈的缝隙中，机械杂质则不能通过“拉希格”圈的缝隙，这样就将压缩空气中的油分和机械杂质滤去。压缩空气然后再进入干燥筒内与吸附剂相遇，吸附剂大量地吸收水分，使从干燥筒上方输出的压缩空气的相对湿度降低，达到车辆用风系统的要求。

图 3-4 所示的干燥筒下方 1/4 高度处为装有“拉希格”圈 8 的油水分离器，而上方 3/4 高度处为装有吸附剂 6 的空气干燥筒 1。

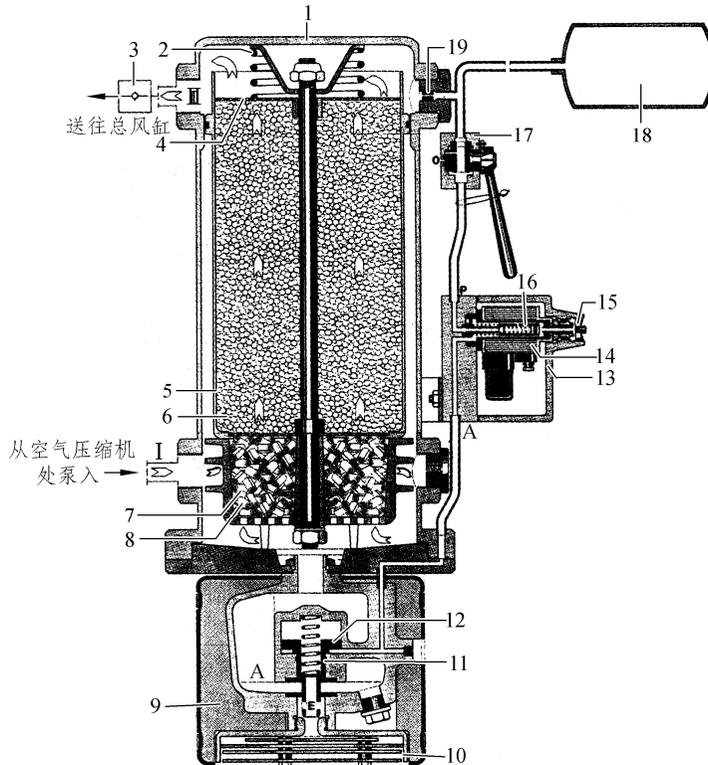


图 3-4 单塔式空气干燥器（吸附工况）

- 1—空气干燥器；2—弹簧；3—单向阀；4—带孔挡板；5—干燥筒简体；6—吸附剂；7—油水分离器；
8—“拉希格”圈；9—排泄阀；10—消音器；11—弹簧；12—活塞；13—电空阀；14—线圈；
15—排气阀；16—衔铁；17—带排气的截断塞门；18—再生风缸；19—节流孔

经过干燥的压力空气，一路经过接口 II 及单向阀 3 送往主风缸，单向阀的作用是防止压力空气从主风缸逆流；另一路经节流孔 19 充入再生风缸 18。在空气压缩机停止工作的同时电空阀 13 失电，再生风缸 18 内的压力空气经过打开的电磁阀 13 向活塞 12 下部充气，活塞 12 上移，打开排泄阀 9，干燥塔内的压力空气迅速排出，这时再生风缸内的压力空气经节流

孔回冲至干燥塔内，并沿干燥筒、油水分离器一直冲至干燥塔下部的积水积油腔内。在下冲过程中，干燥空气在吸收了干燥剂中水分的同时还冲下了“拉希格”圈上的油滴和机械杂质，这样干燥剂再生的同时“拉希格”圈也得到清洗。

当空气压缩机的排气量相对较小时，它的停止工作时间间隔不能满足单塔式干燥器再生所需的时间要求，这时使用双塔式干燥器就可以解决问题。

二、双塔式空气干燥器

1. 双塔式（也称双筒式）空气干燥器的构造（图 3-5）

双塔式空气干燥器由干燥塔 19、干燥器座 25、双活塞阀 34、电磁阀 43 四个主要部分组成。

两个干燥塔 19 a、19b 除了装有干燥空气用的吸附剂外，在其下部均装有油水分离器。干燥器座 25 上设置有再生节流孔 50、两个止回阀 24、一个旁通阀 71 和一个预控制阀 55，如图 3-6 所示。

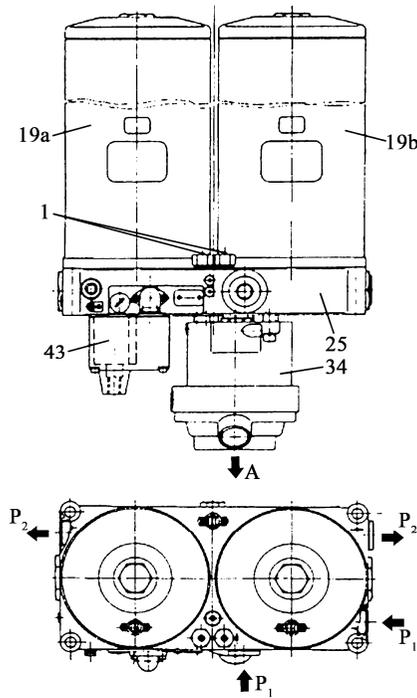


图 3-5 双塔式空气干燥器

1—压力指示器；19a、19b—干燥塔；25—干燥器座；34—双活塞阀；43—电磁阀；
A—排泄口；P1—进气口；P2—出气口

电磁阀 43 和电子循环控制器相配合，控制干燥器的干燥和再生循环。另外，每一个干燥塔还有一个压力指示器 1，用于指示干燥塔的工作状态：压力指示器红针显示压力为干燥工况；相反，红针复位则为再生工况。进气口 P₁ 可选择为前面或右侧，排气口 P₂ 可选择为左侧或右侧。

2. 双塔式空气干燥器的作用原理

(1) 工作原理

双塔式空气干燥器工作时干燥与再生两个工况同时进行，压力空气在一个塔中流过并干燥时，另外一个塔中的吸附剂即再生。从空气压缩机输出的压力空气首先经过装有“拉希格”圈的油水分离器，除去空气中的液态油、水、尘埃等，然后压力空气再流过干燥塔中的吸附剂，吸附剂吸附压力空气中的水分。

一部分干燥过的压力空气（约 13%~18%）被分流出来，经过再生节流膨胀后，进入另一个干燥塔，对已吸水饱和的吸附剂进行脱水再生。再生工作后的压力空气经过油水分离器时，再把积聚在“拉希格”圈上的油、水及机械杂质等从排泄通路排出。

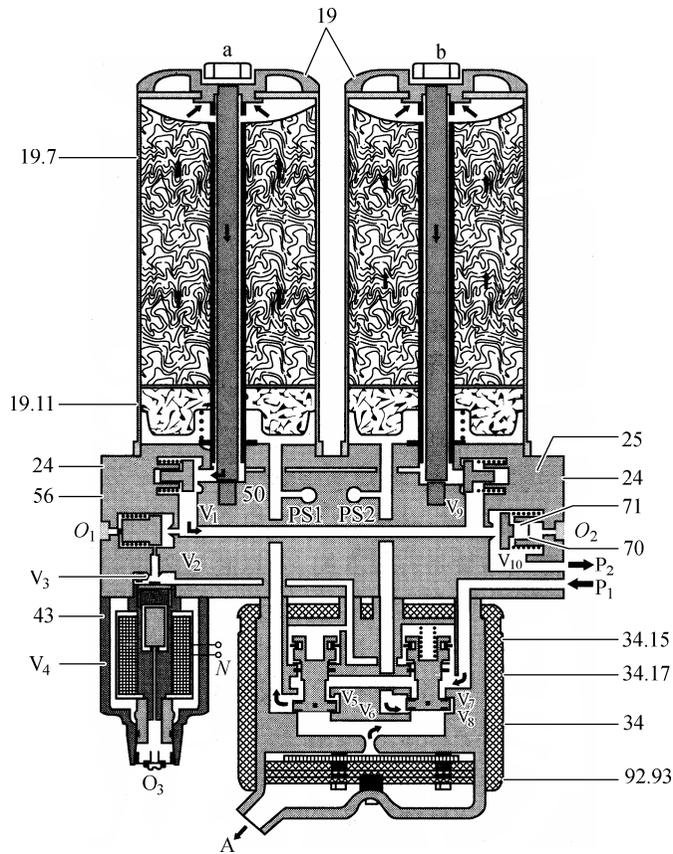


图 3-6 双塔式空气干燥器的作用原理
(干燥塔 19a 为吸附工况，干燥塔 19b 为干燥工况)

19—干燥塔；19.7—吸附剂；19.11—油水分离器；24—止回阀；25—干燥器座；34—双活塞阀；
34.15、34.17、56、70—克诺尔 K 形环；43—电磁阀；50—再生节流孔；55—预控制阀；
71—旁通阀；92.93—隔热材料；A—排泄口；O₁、O₂、O₃—排气口；
P₁—进气口；P₂—出气口；V₁~V₁₀—阀座

(2) 作用过程

干燥塔 19a 处于吸附工作状态时，干燥塔 19b 则处于再生工作状态，相当于处在图 3-7 所示工作循环的前 T/2。

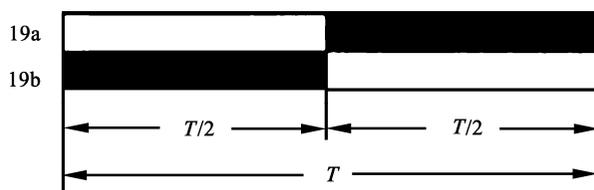


图 3-7 一个工作循环示意图

19a, 19b—干燥塔；■—再生工况；□—吸附工况；T—工作循环

循环控制器控制电磁阀 43。当电磁阀 43 得电时，开启阀 V_3 ，从干燥后的压力空气中部分分流出来的用于控制的压力空气，通过打开的阀 V_2 和阀 V_3 后，到达双活塞阀 34。预控制阀 55 用来防止双活塞阀 34 动作时处于中间位置；阀 V_2 是在双活塞阀 34 需要的“移动压力”达到时才打开。这个“移动压力”推动双活塞阀 34 的两个活塞克服各自的弹簧力，使右活塞移到顶部，而左活塞则移到底部，因此导致阀 V_5 及阀 V_8 的开启。其流程如下：

空气压缩机输出压力空气→进气口 P_1 →阀 V_5 →干燥塔 19a 中油水分离器、吸附剂→干燥塔 19a 中心管，由此分两路：一路到止回阀 V_1 →旁通阀 V_{10} →出气口 P_2 →总风缸；另一路至再生节流孔 50→干燥塔 19b 中吸附剂、油水分离器→阀 V_8 →消声器→排泄口→大气。

这样，干燥塔 19a 对空气压缩机输出压力空气进行油水分离和干燥，干燥塔 19b 则对吸附剂进行再生及排除油污。

当干燥塔 19a 中吸附剂达到饱和极限后，两个干燥塔转换工作状态，此时为图 3-7 所示的 $T/2$ 时间，即电磁阀 43 失电，阀 V_3 关闭而阀 V_4 开启。连通双活塞阀，控制压力空气排至大气，双活塞阀在各自弹簧力作用下复位，结果阀 V_6 及阀 V_7 开启。流程如下：

空气压缩机输出压力空气→进气口 P_1 →阀 V_7 →干燥塔 19b 中油水分离器、吸附剂→干燥塔 19b 中心管，再分两路：

一路到止回阀 V_9 →旁通阀 V_{10} →出气口 P_2 →总风缸；

另一路至再生节流孔 50→干燥塔 19a 中心管→干燥塔 19a 中吸附剂、油水分离器→阀 V_6 →消声器→排泄口 A→大气。

结果，干燥塔 19b 对空气压缩机输出的压力空气进行油水分离和干燥，而干燥塔 19a 则对吸附剂进行再生及排除油污。

为了保证干燥器工作的准确性，干燥器内部要求达到一定的“移动压力”后预控制阀 55 才开启，双活塞阀 34 才能够移动到位。旁通阀 71 保证“移动压力”迅速建立，当压力空气压力超过这个“移动压力”之后，才能打开旁通阀 71，使压力空气流向总风缸。这种设置也可防止干燥塔 19b 出现干燥时间的延长（不能迅速转换工作状态），而使其中的吸附剂产生过饱和。

两个止回阀 24 的作用是防止当空气压缩机不工作时压力空气逆流。

（3）循环控制

循环控制器在空气压缩机启动的同时也开始工作，它根据规定的程序控制电磁阀 43 的开关时间，从而控制双干燥塔每两分钟转换一次工作状态。

当空气压缩机停止工作或空转时，循环控制器记忆下实际的循环状态。当空气压缩机重新启动后，循环控制器从原有的状态上执行控制，这样就可以保证吸附剂充分地再生，并保证吸附剂不会因工作循环的重新设置而产生过饱和。

如果循环控制器或电磁阀出现故障，空气压缩机输出的压力空气仍可以通过干燥器中的一个干燥塔干燥，保证压力空气的供给。

从上述过程可以看出，双塔式干燥器的工作原理与单塔式类似，只不过它不是采取一段时间去油脱水，另一段时间干燥剂再生和“拉希格”圈去污的间歇工作法，而是采取轮换工作的方法，即一个塔对进入塔内的压缩空气进行去油脱水，另一个塔则进行干燥剂再生，按一定周期两塔进行功能对换，以达到压缩空气连续进行去油脱水的目的。

双塔式干燥器没有再生风缸，但设有一个定时脉冲发生器以使两个干燥塔的电磁阀定时地轮换开、关，以使两个塔的功能定时进行轮换。